

ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΑΒΟΥΛΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΔΗΜΟΣΙΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟ ΧΙΟΥ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

α) Με δεδομένο ότι σύμφωνα με τους ειδικούς η υδρογεωλογία της περιοχής εξαιρετικά ευαίσθητη τι διασφαλίσεις υπάρχουν ότι οι ερευνητικές εργασίες δεν θα επηρεάσουν την ιαματική πηγή (των Αγιασμάτων);

β) Τι εγγυήσεις υπάρχουν για την ποιότητα του πόσιμου νερού στην περιοχή και θα υπάρξει μόλυνση (του νερού) κατά τη διάρκεια και μετά την εξόρυξη;

γ) Η ΕΑΓΜΕ έχει συγκεκριμένη πρόταση για μελέτες, μετρήσεις και έλεγχο υδρογεωλογίας, καθώς η ΕΑΓΜΕ είναι ο εθνικός φορέας γι αυτά τα θέματα;

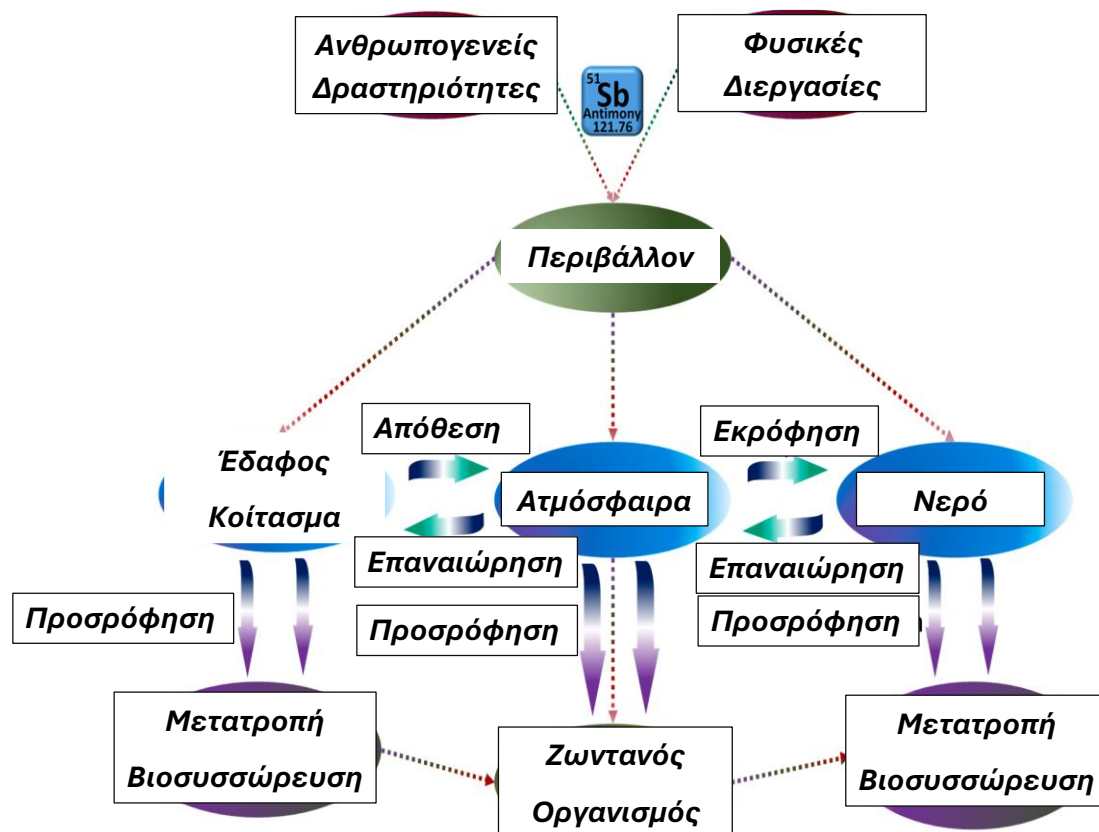
δ) Ποιες είναι οι πρακτικές μεταλλευτικής έρευνας παγκοσμίως; Απαιτείται μεγάλος χρόνος έρευνας ή ο ανάδοχος μπορεί να προχωρά σε εκμετάλλευση άμεσα; Υπάρχει η δυνατότητα η διαδικασία δημοπράτησης να γίνει σε δύο διακριτά στάδια, πρώτα η έρευνα και μετά η εκμετάλλευση, ώστε να διασφαλιστεί η δυνατότητα μετά την ολοκλήρωση των ερευνητικών εργασιών στα πλαίσια διαβούλευσης η τοπική κοινή γνώμη να ενημερωθεί για τους διαφαινόμενους τρόπους πραγματοποίησης της εξόρυξης; Μήπως θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί αρχικά μελέτη - έρευνα από το κράτος ή από οποιοδήποτε κρατικό Πανεπιστήμιο, ώστε να εκτιμηθεί το κοίτασμα και η βιωσιμότητά του και κατόπιν να δοθεί προς εκμετάλλευση στην εκάστοτε εταιρία, με συγκεκριμένους όρους περιβαλλοντικούς και οικονομικούς που το κράτος θα ορίσει από πριν και όχι κατόπιν;

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΠΟ

ΣΤΕΦΑΝΟ ΚΙΛΙΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΕΚΠΑ

Τα παραπάνω ερωτήματα που επιβλήθηκαν είναι συναφή, και απαντώνται με έναν ενιαίο τρόπο: Πρέπει να γίνει εξ' αρχής κατανοητό ότι, σύμφωνα με την χρησιμότητα του στην Ευρωπαϊκή οικονομία, το μεταλλοειδές Αντιμόνιο (Sb) θεωρείται από την ΕΕ κρίσιμη και στρατηγική πρώτη ύλη), ενώ παράλληλα, υψηλές συγκεντρώσεις Sb στο περιβάλλον μπορεί να είναι τοξικές για τα οικοσυστήματα και πιθανώς την δημόσια υγεία. Επίσης, πρέπει να κατανοηθεί εξ' αρχής ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος από Sb ενεργοποιείται/προκαλείται τόσο από φυσικές διεργασίες όσο και ανθρωπογενείς δράσεις.

Για να κατανοηθούν πλήρως οι απαντήσεις στις ερωτήσεις που ετέθησαν, πρέπει πρώτα να αναφερθούμε σε θεμελιώδεις αρχές και διεργασίες του βιογεωχημικού κύκλου του Αντιμονίου στο περιβάλλον, δηλαδή μέσω ποιων γεωγενών (φυσικών) και ανθρωπογενών διαδρομών/μονοπατιών απελευθερώνεται και συγκεντρώνεται το Sb στο περιβάλλον, με άλλα λόγια πως και γιατί κινητοποιείται το Sb στο περιβάλλον, δηλαδή στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, έδαφος, ιζήματα, και αέρα.



Η παραπάνω Εικόνα δείχνει την πολυπλοκότητα της κατανομής Sb στο περιβάλλον, δηλ. τις πηγές, τις βιογεωχημικές μετατροπές και τα κύρια μονοπάτια ρύπανσης. Γίνεται φανερό, ότι η οξειδωτική κατάσταση του Sb $[[Sb(-III)/Sb(0)/Sb(III)/Sb(V)]]$ παίζει έναν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βιογεωχημικής συμπεριφοράς του, που περιλαμβάνει διάλυση, προσρόφηση-εκρόφηση, βιοδιαθεσιμότητα, τοξικότητα, και βιοσυσσώρευση (συγκέντρωση σε οργανισμούς).

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες: Οι κύριες πηγές της επικίνδυνης (τοξικής) μορφής Sb (i.e., Sb(V)) είναι κυρίως η μεταλλευτική δραστηριότητα και η φαρμακευτική βιομηχανία. Άλλες πηγές περιλαμβάνουν: λυματολάσπη, έκπλυση πλαστικών απορριμμάτων, απ' ευθείας διείσδυση στραγγισμάτων στερεών και ηλεκτρονικών αποβλήτων κ.α. Σε περιοχές εξόρυξης κοιτασμάτων Sb, στα οποία το Sb βρίσκεται κυρίως υπό μορφή αντιμονίτη (Sb_2S_3) (όπως συμβαίνει στις περιοχές ενδιαφέροντος στην Χίο) το Sb μπορεί να απελευθερωθεί από τον αντιμονίτη, λόγω διάλυσης του τελευταίου κάτω από οξειδωτικές συνθήκες, οι οποίες προκαλούν τον σχηματισμό δευτερογενών ορυκτών όπως: tripuhyite ($FeSbO_4$), senarmontite (Sb_2O_3), romeite ($Ca_2Sb_2O_6OH$), cervantite (Sb_2O_4), kermesite (Sb_2S_2O) and valentinite (Sb_2O_3), από τα οποία απελευθερώνεται περαιτέρω στο περιβάλλον. Έτσι, μπορεί να παραχθούν εν δυνάμει επικίνδυνα ρυπογόνα υγρά απόβλητα, που μπορεί να περιέχουν εκτός από Sb, βαρέα μέταλλα όπως Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn, και Se, τα οποία μπορεί να εισέρχονται σε επιφανειακές η

υπόγειες απορροές (United States Environmental Protection Agency). Η κυκλοφορία υγρών αποβλήτων σε περιοχές εξόρυξης, που περιέχουν Sb, βαρέα μέταλλα, και τοξικές και επιβλαβείς σύμπλοκες χημικές ενώσεις του Sb, , μπορεί να είναι επιβλαβής σε φυτά, ζώα, και μικροοργανισμούς οδηγώντας σε μείωση της βιοποικιλότητας.

Γεωγενείς (φυσικές) πηγές και διεργασίες: Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι οι ανθρωπογενείς εργασίες (π.χ., μεταλλευτικές εργασίες κ.α.). δεν αποτελούν τις μοναδικές πηγές προέλευσης Sb, και ενδεχόμενης ρύπανσης, στο περιβάλλον, αλλά το Sb απελευθερώνεται στα εδάφη, στα ιζήματα, και στα υδατικά περιβάλλοντα από φυσικές διεργασίες διάβρωσης/αποσάθρωσης πετρωμάτων που περιέχουν γεωγενή θειούχο μεταλλοφορία, και έκλυση αποβλήτων μεταλλευτικής δραστηριότητας, όταν τα τελευταία δεν προσεχθούν.

Κατανομή στο έδαφος: Το Sb που απελευθερώνεται στο έδαφος κατακρατείται με φυσικό τρόπο από ορυκτά οξείδια του αργιλίου (Al)-, του σιδήρου (Fe)-, και του μαγγανίου (Mn)-oxide, Metal(loid). Η κινητοποίηση (mobilization) του Sb στο έδαφος εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες όπως, απόθεση και διάλυση ορυκτών οξειδίων, διεργασίες προσρόφησης-εκρόφησης και ανταλλαγής ιόντων, δημιουργία σύμπλοκων χημικών ενώσεων, pH, Eh, (βιο)μετατροπές, φυτοσταθεροποίηση/αφομοίωση, και έκλυση.

Κατανομή στα επιφανειακά και υπόγεια νερά: Το αντιμόνιο Sb υπάρχει σε μικρές περιεκτικότητες σε μη ρυπασμένες, φυσικές συγκεντρώσεις νερού-φυσικά υδατικά περιβάλλοντα. Depending on the physicochemical environmental setting and geographical positioning, Σε συγκεντρώσεις συνολικού διαλυμένου Sb με μορφή ευδιάλυτων ενώσεων, το Sb συμμετέχει με 4 σθένη [Sb(-III)/Sb(0)/Sb(III)/Sb(V)], τα οποία προσδιορίζουν την μετατροπή του, και την κινητοποίησή του. Οι συγκεντρώσεις Sb σε υδατικά μέσα, επηρεάζονται και καθορίζονται από μηχανισμούς προσρόφησης, κινητοποίησης, και την ακινητοποίησής του, pH, Eh, συνυπάρχοντα μεταλλικά ιόντα, και φυσικά οργανικά υλικά.

Βιογεωχημικές διεργασίες Sb στο περιβάλλον: Ο παγκόσμιος γεωχημικός κύκλος του Sb δεν έχει πλήρως κατανοηθεί και καταγραφεί σε σχέση με άλλα μέταλλα/μεταλλοειδή στην βιβλιογραφία. Η βιογεωχημική συμπεριφορά του Sb σε υδατικά συστήματα χρήζει περεταίρω πειραματικής μελέτης και έρευνας.

Τι πρέπει να γίνει?

Ο στόχος είναι πάντα, να μπορέσουμε να εμποδίσουμε τις επιβλαβείς επιδράσεις της υψηλής περιεκτικότητας του οικολογικού περιβάλλοντος σε Sb και ενδεχομένως άλλα βαρέα μέταλλα. Πρέπει να αντιμετωπιστεί επαγγελματικά και επιστημονικά η διαχείριση των περιοχών στις οποίες αναπτύσσεται μεταλλευτική δραστηριότητα για εξόρυξη Sb (τοξική επίδραση στην επιβίωση και αναπαραγωγή υδατικών και χερσαίων

οργανισμών), με έμφαση στο υδατικό περιβάλλον. Γίνεται φανερό ότι για να είναι δυνατόν να προβλεφθεί η "κινητικότητα του Sb" στο περιβάλλον, και κυρίως στο επιφανειακό και υπόγειο νερό, πρέπει να γίνουν λεπτομερείς επιστημονικές μελέτες από ειδικούς επιστήμονες, στα θέματα που αναπτύχθηκαν παραπάνω, και να συνδυαστούν με ανάπτυξη νέων υλικών, έρευνα εντοπισμού με σύγχρονες προσεγγίσεις, και βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών απάλειψης του Sb, που είναι θεμελιώδη για την επίτευξη του βασικού στόχου. Παράλληλα, πρέπει να εκτιμηθεί και αξιολογηθεί το επίπεδο της ριψοκινδύνευσης διαφόρων πτυχών του προβλήματος, εκτός από το νερό, όπως έδαφος, βιοτοξικότητα.

Επομένως, η πρώτη προτεραιότητα είναι συγκεκριμένα ότι, θα πρέπει να γίνουν οι εξής μελέτες, στις περιοχές ενδιαφέροντος στην Χίο, στις οποίες είχε αναπτυχθεί στο παρελθόν μεταλλευτική δραστηριότητα, για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων και εφαρμογών σε μελλοντικά προγράμματα εξόρυξης:

1. Ανάλυση των κύριων πηγών και "μονοπατιών κυκλοφορίας" των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων που ρέουν και αποστραγγίζουν αυτές τις περιοχές, μέσω της ερευνητικής εξέτασης και κατανόησης του μηχανισμού δημιουργίας, της επικινδυνότητας και των μεθόδων επεξεργασίας των ενδεχομένως ρυπασμένων υδάτων.
2. Πρέπει να γίνει μελέτη των : **(1)** Φυτικών και ζωικών οργανισμών που ζουν κοντά στην περιοχή του μεταλλείου, τα οποία μπορούν να συγκεντρώσουν Sb, και βαρέα μέταλλα, **(2)** Ιόντα βαρέων μετάλλων, οργανικές ενώσεις, θρεπτικά συστατικά, και επικίνδυνες χημικές ενώσεις, στα νερά, **(3)** Περιεκτικότητα σε Sb, και συμπλοκές χημικές ενώσεις (ιόντα) με Sb. Όταν έρθουν σε επαφή με το έδαφος, αυτές οι ενώσεις, σταθεροποιούνται και συγκεντρώνονται με αποτέλεσμα την ρύπανση του εδάφους, **(4)** Βιοτοξικότητα. Η συγκέντρωση αντιμονίου και βαρέων μετάλλων, μπορεί να έχουν τοξική επίδραση σε υδάτινους και χερσαίους οργανισμούς.
3. Πρέπει να διεξαχθεί μια ενδελεχής συζήτηση από ειδικούς επιστήμονες, των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διαφόρων τεχνολογιών επεξεργασίας ρύπων Sb στο νερό (π.χ., προσρόφηση (Adsorption), ηλεκτροχημικές μέθοδοι (Electrochemical), Ουδετεροποίηση και απόθεση) (Neutralization and precipitation method), (ανταλλαγή ιόντων)(Ion exchange), Διαχωρισμός μεμβράνης (Membrane separation), μικροβιολογική μέθοδος (Microbiological method, για να αξιολογηθεί και εφαρμοστεί η καταλληλότερη και αποτελεσματικότερη για την συγκεκριμένη περιοχή (γεωλογία, γεωμορφολογία, ορυκτολογική σύσταση και χημισμός του συγκεκριμένου μεταλλεύματος κ.λπ.), και για εφαρμογή σε μελλοντικά προγράμματα εξόρυξης.
4. Η διεθνής βιβλιογραφία (βλ. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ) προσφέρει λεπτομερή παραδείγματα, για όλα τα παραπάνω.

Συμπερασματικά, γίνεται φανερό ότι για να απαντηθούν οι ερωτήσεις που τέθηκαν, η πρώτη προτεραιότητα είναι συγκεκριμένα ότι θα πρέπει να γίνουν οι παραπάνω αναφερόμενες μελέτες, στις περιοχές ενδιαφέροντος στην Χίο, στις οποίες είχε αναπτυχθεί στο παρελθόν μεταλλευτική δραστηριότητα. Μετά την εξαγωγή τέτοιων ασφαλών και επιστημονικά αξιόπιστων συμπερασμάτων, αυτά μπορούν να εφαρμοστούν σε μελλοντικά προγράμματα εξόρυξης.

Πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι, μελλοντικά μεταλλεία Sb πρέπει να βρίσκονται, με νομική δέσμευση, υπό συνεχή περιβαλλοντικό έλεγχο, με σύγχρονα προγράμματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης, που να περιλαμβάνουν την ποιοτική και ποσοτική παρακολούθηση όλων των μεταβλητών που σχετίζονται με, ή μπορεί να επηρεάζονται από, τις μεταλλευτικές δραστηριότητες.

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bolan, N., Kumar, M., Singh, E., Kumar, A., Singh, L., Kumar, S., Keerthanan, S., Hoang, S.A., El-Naggar, A., Vithanage, M. and Sarkar, B., 2022. Antimony contamination and its risk management in complex environmental settings: a review. *Environment International*, 158, p.106908.

European Commission, 2023. [Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report](#)

Deng, S., Ren, B., Hou, B., Deng, R. and Cheng, S., 2023. Antimony-complexed heavy metal wastewater in antimony mining areas: source, risk and treatment. *Environmental Technology & Innovation*, p.103355.

Esbrí, J.M., Minang, C.M., Rivera, S., Madrid-Illescas, M., García-Noguero, E., González-Valoys, A., Maguregui, M., Thouin, H., Battaglia-Brunet, F., Gloaguen, E. and Higuera, P.L., 2023. Evaluation of antimony availability in a mining context: Impact for the environment, and for mineral exploration and exploitation. *Chemosphere*, 311, p.137086.

Ferrari, C., Resongles, E., Freydier, R. and Casiot, C., 2024. Antimony isotope fractionation during Sb (V) and Sb (III) adsorption on secondary Fe-minerals (schwertmannite, ferrihydrite) typical of mine waters. *Applied Geochemistry*, 163, p.105935.

Filella M, Philippo S, Belzile N, Chen Y, Quentel F (2009) Natural attenuation processes applying to antimony: a study in the abandoned antimony mine in Goesdorf, Luxembourg. *Sci Total Environ* 407:6205–6216. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.027>

Guillevis, F., Rossi, M., Resongles, E., Freydier, R., Ferrari, C., Quantin, C., Monvoisin, G., Poulenard, J. and Arnaud, F., 2024. Multi-isotope (Pb, Sb) approach to trace metallic contaminant sources at a historical mining and metallurgical site. *Chemical Geology*, 649, p.121958.

Jin, C. and Peng, L., 2024. Antimony's environmental impact in China. *Science*, 386(6719), pp.280-281.

Peco, J.D., Thouin, H., Esbrí, J.M., Campos-Rodríguez, H.R., García-Noguero, E.M., Breeze, D., Villena, J., Gloaguen, E., Higuera, P.L. and Battaglia-Brunet, F., 2023. Mobility of antimony in contrasting surface environments of a mine site: influence of redox conditions and microbial communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(48), pp.105808-105828.

Zarzsevszkij, S., Vítková, M., Zelená Pospíšková, K., Kolařík, J., Böserle Hudcová, B. and Jurkovič, L., 2024. Management of a contaminated mine soil: Effect of soil water content on antimony and arsenic immobilisation by iron-based amendments and biochar composites. *Soil Use and Management*, 40(1), p.e12968.



Στέφανος Κίλιας

Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ)

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας

Πανεπιστημιόπολις, Ζωγράφου, Αθήνα 15784